



EESTI MAAÜLIKOOL
Metsandus- ja maaehitusinstituut

Lauri Põlluäär

**LAGERAIEALADE TUVASTAMINE SENTINEL-2
SATELLIITPILTIDE PÕHJAL**

**IDENTIFYING CLEAR-CUT AREAS BASED ON SENTINEL-2
SATELLITE IMAGES**

Bakalaureusetöö
Metsanduse õppekava

Juhendaja: Urmas Peterson, *PhD*

Tartu 2021

Eesti Maaülikool		Bakalaureusetöö lühikokkuvõte	
Kreutzwaldi 1, Tartu 51006			
Autor: Lauri Põlluäär		Õppekava: Metsamajandus	
Pealkiri: Lageraialade tuvastamine Sentinel-2 satelliitpiltide põhjal			
Lehekülgi: 30	Jooniseid: 12	Tabeleid: 2	Lisasid: 1
Osakond / Õppetool: Metsakorralduse ja metsatööstuse õppetool			
ETIS-e teadusvaldkond ja CERC S-i kood: Metsandus, B430			
Juhendaja: Urmas Peterson, <i>PhD</i>			
Kaitsmiskoht ja -aasta: Tartu 2021			
<p>Maailmas areneb tehnoloogia meeletu kiirusega. Sinna kuulub ka metsanduses ning kaugseires kasutatav tehnoloogia, mida on võimalik ka omavahel siduda.</p> <p>Antud töö eesmärk oli satelliitpiltide põhjal leida vahemikus 07.07.2018–21.06.2020 tekkinud lageraialad Saaremaa riigimetsades, leida selle täpsus ning uurida vigade tekitajaid. Selleks kasutati Sentinel-2A ja Sentinel-2B <i>MultiSpectral Instrument</i> poolt tehtud pilte ning programme IDRISI Selva ja MapInfo Pro.</p> <p>Töö tulemusena leiti riigimetsades asuvaid lageraialasid kogupindalaga 657,74 ha. Enamjaolt olid klassifitseerides leitud alade pindalad veidi suuremad kui eraldise tegelik pindala, mis tähendab, et eraldiste servades olevate pikslite nurgad või servad ulatusid eraldise piiridest välja. Selle vea peamiseks põhjustajaks olid heleda tooniga alad eraldiste ääres, nagu näiteks metsateed või teised lagedad alad. Vastupidiselt oli ka eraldiste servades tumedamaid alasid, näiteks varjud, mida klassifitseerimise käigus ei loetud muutusena, mistõttu tuli eraldise pindala väiksem kui päriselt. Antud meetodit kasutades sai lageraialasid tuvastada keskmiselt 0,43 ha täpsusega. See oleneb siiski suuresti eraldise pindalast, väiksemaid lageraialasid on võimalik tuvastada täpsemalt ning suuremate eraldiste tuvastamisel võib tekkida ka suurem viga.</p>			
Märksõnad: klassifitseerimine, kaugseire, IDRISI, piltide võrdlus, rasterandmed			

Estonian University of Life Sciences Kreutzwaldi 1, Tartu 51006		Abstract of Bachelor's Thesis	
Author: Lauri Põlluäär		Curriculum: Forest Management	
Title: Identifying clear-cut areas based on Sentinel-2 satellite images			
Pages: 30	Figures: 12	Tables: 2	Appendixes: 1
Department / Chair: Chair of Forest Management Planning and Wood Processing Technologies			
Field of research and (CERC S) code: Forestry, B430			
Supervisor: Urmas Peterson, <i>PhD</i>			
Place and date: Tartu 2021			
<p>In the world technology evolves with vast speed. This also includes the technology used in forestry and remote sensing, which can possibly be combined with each other.</p> <p>The purpose of this thesis was to find areas in the state forests in Saaremaa, where a clear-cut had been carried out from 07.07.2018 to 21.06.2020, to ascertain its accuracy and examine the causes of the errors. For this, satellite photos taken by Sentinel-2A and Sentinel-2B <i>MultiSpectral Instrument</i> and programs IDRISI Selva and MapInfo Pro were used.</p> <p>As a result of the research, clear-cut areas in the state forests with a total area of 657,74 hectares were found. For the most part the regions found by classifying had a slightly bigger total area than the area of the actual forest allocation, which means that the corners or edges of some pixels on the edges of the allocations were out of the borders of said allocations. The main cause of this error were light toned areas at the edge of the allocations, for example forest roads or other clear areas. On the contrary, there were also darker toned areas at the edges of the allocations, for example shadows, that were not accounted as change while classifying, which is why the area of the allocation came out smaller than it actually is. By using the given method, clear-cut areas were possible to be determined with the average accuracy of 0,43 hectares. However, this largely depends on the area of the allocation, smaller clear-cut areas can be identified more accurately, and larger allocations can also be subject to a larger error.</p>			
Keywords: classifying, remote sensing, IDRISI, image comparison, raster data			

SISUKORD

SISSEJUHATUS	5
1. METSADE SATELLIITKAUGSEIRE.....	6
1.1. Metsade satelliitkaugseire ülevaade	6
1.2. Sentinel-2A ja Sentinel-2B lühikirjeldused.....	9
2. MATERJAL JA METOODIKA.....	11
2.1. Satelliitpiltide otsimine ning allalaadimine	11
2.2. Piltide importimine ning töötlemine IDRISI-s ja MapInfo-s	11
3. TULEMUSED JA ARUTELU	17
KOKKUVÕTE	22
KASUTATUD KIRJANDUS	24
SUMMARY	25
LISAD	27
Lisa 1. Rasterjoonised leitud lageraiealadest.....	28

SISSEJUHATUS

Metsanduses nagu ka teistes majandusharudes kasutatav tehnoloogia areneb suurel kiirusel üha efektiivsemaks ning paremaks. Alles pool sajandit tagasi ei olnud veel olemas modernset harvesteri, mis tänapäeval on metsatööstuses peaaegu kohustuslik töövahend. Samuti areneb kiiresti ka kaugseire ning paljusid erinevaid kaugseire viise ja tehnikaid, mille abil saab mõõta metsade ulatust ja muutusi on hakatud kasutama ka metsanduses (Boyd, Danson 2005). Sellest teadmistest tulenes ka idee antud töö eesmärgiks.

Uurimistöö peamiseks eesmärgiks on tuvastada Sentinel-2A ja Sentinel-2B MSI (*MultiSpectral Instrument*) sensori piltide põhjal lageraiealasid, kasutades pildipaari võrdlemise, nende vahel toimunud muutuste otsimise ja klassifitseerimise meetodit ning leida selle meetodi täpsus, millega on võimalik lageraiealasid tuvastada. Samuti uuritakse klassifitseerimise tulemusena tekkinud vigu ning selgitatakse, miks need vead tekkisid ja mis objektidega on tegu. Uurimisobjektideks on Sentinel-2A ja Sentinel-2B MSI poolt tehtud Satelliitpildid Saaremaast, mis on tehtud kahel erineval kuupäeval – 07.07.2018 ja 21.06.2020. Piltide valiku üheks faktoriks oli pilvisus. Otsiti pildid, mis oleksid võimalikult pilvevabad. Töö käigus otsitakse alasid, kus lageraie on teostatud eelmainitud ajavahemikus. Uurimisobjektiks valiti Saaremaa, sest tegu on autori sünni- ja peamise elukohaga.

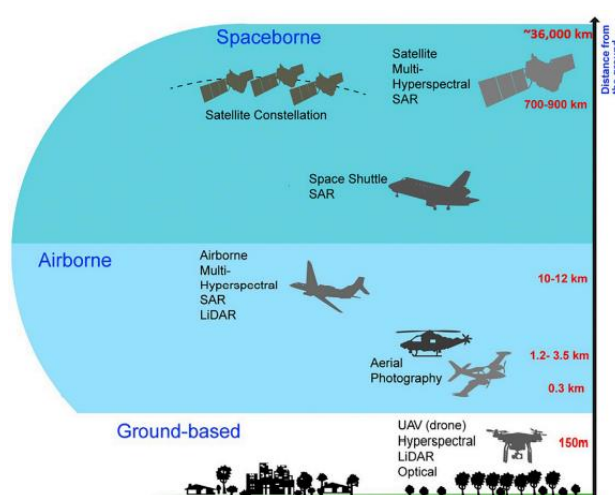
Andmetöötluse tegemiseks kasutatakse peamiselt programmi IDRISI Selva. Seal teostatakse suurem osa pilditöötlusest, klassifitseerimisest ning veahinnangust. Samuti kasutatakse vektorandmete töötlemiseks ka programmi MapInfo Pro.

1. METSADE SATELLIITKAUGSEIRE

1.1. Metsade satelliitkaugseire ülevaade

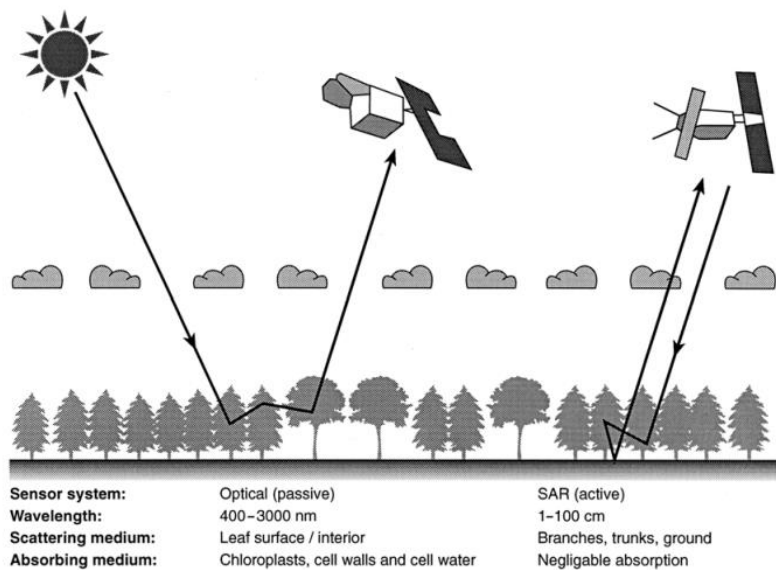
Kaugseire on informatsiooni omandamine mingi objekti või koha huvipakkuva tunnuse kohta sellega otsest kontakti loomata. Keskkonnateaduste alal on väga populaarsed kaugseire liigid maapinnast tehtud pildid sensorite poolt, mis on paigutatud kas kosmoses olevatele satelliitidele või õhus olevatele platvormidele – lennukitele, helikopteritele või droonidele. Kaugseiret on võimalik kasutada peaaegu kõikide peamiste metsa muutujate ning osade kaardistamiseks ja mõõtmiseks. (Lechner *et al.* 2020)

Kaugseiresüsteemid on saadaval väga mitmekesise hulga sensorite ning platvormide või seadmetena. Seireks kasutatavad vahendid võib jagada kolme gruppi võttes arvesse nende kõrgust maapinnalt: 1) kosmoses olevad vahendid, 2) õhus kasutatavad vahendid ning 3) maapinnal või maapinna lähedal olevad vahendid (joonis 1). Antud alapeatükis antakse lühike ülevaade satelliitkaugseirest.



Joonis 1. Kaugseire liigid arvestades vahendi kaugust maapinnast (Lechner *et al.* 2020).

Satelliitkaugseire ning selleks kasutatavad sensorid saab jagada kahte rühma – passiivsed ja aktiivsed (joonis 2). Passiivsed kaugseire sensorid on optilised sensorid, mis tuginevad maapinnalt peegeldunud päikesekiirgusele, infrapunakiirgusele või emiteeritud soojusenergiale (Lechner *et al.* 2020). Seetõttu on neile suureks takistuseks pilved või suits, millest sensorid läbi ei suuda tungida.



Joonis 2. Passiivne ja aktiivne satelliitkaugseire (Boyd, Danson 2005).

Märkus. SAR – *synthetic-aperture radar* ehk tehisavaradar.

Optilised sensorid jagatakse nelja rühma spektriribade koguse järgi, milles sensor on võimeline pildistama (Centre for Remote Imaging... 2001):

- 1) pankromaatne;
- 2) multispektraalne;
- 3) superspektraalne;
- 4) hüperspektraalne.

Pankromaatne sensor suudab pilte jäädvustada ühes ainsas laias lainepikkuste ribas, mis tähendab et see on tundlik paljude erinevate värvuste suhtes. Multispektraalsed sensorid jäädvustavad mitmel erineval kitsal lainepikkuse ribal. Antud töös kasutatud Sentinel-2A ja Sentinel-2B satelliitidel on multispektraalne sensor nimega MSI (*MultiSpectral Instrument*). Superspektraalne sensor suudab pildistada kümnetel erinevatel lainepikkuste ribadel, mis on

kitsamad kui multispektraalse sensori lainepikkuste vahemikud. Kõige rohkemates ja täpsemates spektrivahemikes suudab pildistada hüperspektraalne sensor. Hüperspektraalsed sensorid on võimelised jäädvustama pilte sadades erinevates lainepikkuste vahemikes. (Centre for Remote Imaging... 2001)

Aktiivse kaugseire põhimõte on radari poolt välja saadetud impulsi tagasi peegeldunud impulsside mõõtmine sensori poolt. Satelliitkaugseires kasutatav aktiivne sensor on näiteks SAR (*synthetic-aperture radar*), mis suudab eristada maakatte tunnuseid vastavalt nende pinnakaredusele, 3-mõõtmelisele struktuurile ja veesisaldusele. (Lechner *et al.* 2020)

Peamiselt saab satelliitkaugseiret kasutades uurida kolme erinevat üldist informatsiooniliiki metsade kohta, täpsemaid infoliike on loomulikult rohkem (Boyd, Danson 2005):

- 1) metsa ja metsaosade ruumilist ulatust ning nende muutuste dünaamikat;
- 2) metsade tüüpe ning nendes leiduvaid liike;
- 3) metsade biofüüsikalisi ning biokeemilisi omadusi.

Metsa ruumilise ulatuse ja muutuste dünaamika uurimine kaugseirega on arenenud kahes eri suunas: 1) metsaala piiritlemine mitte-metsaalast, selle ulatuse arvutamine ja kaardistamine ning 2) ning metsatulekahjude esinemist kasutades metsakadu ennustamiseks. Üks esimesi katseid kaardistada metsaala muutusi suurtel aladel oli NASA *Landsat Pathfinder Humid Tropical Deforestation Project* kasutades Landsat programmi satelliitide poolt tehtud pilte, mis andis esimesed hinnangud metsade hävimise kohta Amazonases ja mitmes troopilises riigis. Põlengute poolt metsade hävimist ennustatakse jälgides aktiivseid põlenguid, põletuses kannatada saanud alasid ja suitsukogusid ning kasutades spetsiaalseid aktiivsete põlengute avastamise algoritme. Selle tegevuse tähtsus on suur, sest metsapõlengud on kõige märkimisväärsed metsade hävitaja boreaalsetes metsades. (Boyd, Danson 2005; Feng *et al.* 2016; Hansen *et al.* 2013)

Kõikidel metsatüüpidel on erinevad majanduslikud otstarbed, mistõttu kasutatakse satelliitkaugseirest saadud andmeid metsa ressursside kohta rohkema informatsiooni saamiseks. Selleks kasutatakse nii optilisi kui ka SAR sensoreid. Erinevaid katseid on tehtud, et teha kindlaks, kas kasutades satelliitkaugseiret on ökonoomsem metsatüüpide kindlaks tegemine visuaalsel teel või kasutades klassifitseerimist. Katsetest selgus, et enamjaolt on ökonoomsem viimati mainitu. Klassifitseerimise teel lageraiealade tuvastamist kasutatakse ka käesolevas töös. Veel aitab klassifitseerimise täpsusele kaasa aastatevaheliste

multitemporaalsete andmete kasutamine, sest siis tulevad mängu puuliikide erinevused arvestades aastaaegu – lehtpuud kaotavad sügisel lehed, okaspuud jäävad enamjaolt roheliseks. Metsade biofüüsikaliste ja biokeemiliste omaduste mõõtmised annavad parema ülevaate metsas leiduva ressursi kvaliteedist. (Boyd, Danson 2005; Merchant, Narumalani 2009)

1.2. Sentinel-2A ja Sentinel-2B lühikirjeldused

Copernikuse programmi Sentinel-2 missioon koosneb kahest identsest satelliidist, Sentinel-2A ja Sentinel-2B, mis saadeti orbiidile vastavalt 2015. aasta 23. juunil ning 2017. aasta 7. märtsil (The European Space Agency 2021). Sentinel-2A on Euroopa Copernikuse programmi esimene optiline Maa vaatlus satelliit (Satellite Imaging Corporation 2021). Algselt, kui orbiidil oli ainult Sentinel-2A, suutis Sentinel-2 missioon Maakera üles pildistada 10 päevaga, kuid alates Sentinel-2B stardist on see aeg poole võrra väiksem – 5 päeva, sest satelliidid asetsevad 786 km kõrgusel orbiidil 180° vahega (The European Space Agency – Sentinel 2021; Satellite Imaging Corporation 2021).

Sentinel-2A ja Sentinel-2B põhilised ülesanded on põllumajanduse ning metsandusega seotud muutuste jälgimine Maal, lehtede klorofüll- ning veesisalduse kaardistamine, ranniku- ja siseveekogude jälgimine ning ka loodusriskide ja -katastroofide kaardistamine (Satellite Imaging Corporation 2021). Seda kõike suudavad eelnimetatud satelliidid enneolematul tasemel teha tänu sellele, et neile on paigutatud multispektraalsed kaamerad, mis pildistab 13 erinevas spektrialas, nii optilises kui ka infrapunases spektriirirkonnas. Nende 13 spektriirirkonna lainepikkuste vahemik on 443–2190 nm. Kõige kõrgem resolutsioon on kolmel nähtaval spektriribal (sinine, roheline ja punane) ning lähiinfrapunasel spektrialal. Nendes spektriirirkondades on resolutsioon 10 m, mis tähendab, et kaamera teeb pildi, mille ühe piksli suurus on võrdne 10 meetrise alaga Maa peal. Ülejäänud spektriribade resolutsioonid on 20 ning 60 m. Kõikide spektriribade näitajad on ükshaaval välja toodud tabelis 1.

Tabel 1. Sentinel-2A ja Sentinel-2B spektriribad ning näitajad (Earth Observing System 2015; Satellite Imaging Corporation 2021)

Spektririba	Keskmine lainepikkus, μm	Ribalaius, μm	Resolutsioon, m
Riba 1 – Ranniku aerosool	0.443	0.020	60
Riba 2 – Nähtav sinine	0.490	0.065	10
Riba 3 – Nähtav roheline	0.560	0.035	10
Riba 4 – Nähtav punane	0.665	0.030	10
Riba 5 – Taimkatte punane serv	0.705	0.015	20
Riba 6 – Taimkatte punane serv	0.740	0.015	20
Riba 7 – Taimkatte punane serv	0.783	0.020	20
Riba 8 – Lähinfrapuna	0.842	0.115	10
Riba 8b – Kitsas lähinfrapuna	0.865	0.020	20
Riba 9 – Veeaur	0.945	0.020	60
Riba 10 – Lühilaineline infrapuna (kiudpilved)	1.375	0.030	60
Riba 11 – Lühilaineline infrapuna	1.610	0.090	20
Riba 12 – Lühilaineline infrapuna	2.190	0.180	20

Lageraiealade tuvastamiseks valiti Sentinel-2 missiooni satelliitide ning Landsat 8 vahel. Valik oli autori vabatahtlik otsus ning selleks osutusid Sentinel-2A ja Sentinel-2B poolt tehtud pildid. Üheks põhjuseks oli Sentinel-2A ja 2B lühilainelise infrapuna riba teravam resolutsioon (20 m) Landsat 8 samalaadse riba resolutsiooni ees (30 m), sest sellel spektriribal tehtud pilte kasutakse töö käigus lageraiealade leidmiseks. Teiseks põhjuseks oli autori arvamus, et Sentinel-2A ja Sentinel-2B piltide kättesaamine ning alla laadimine on lihtsam protsess, kui seda on Landsat 8 piltide saamine, sest Sentinel 2 missiooni satelliitide piltide otsimisega oli varasemalt kokku puutunud.

2. MATERJAL JA METOODIKA

2.1. Satelliitpiltide otsimine ning allalaadimine

Töös kasutatud satelliitpildid laaditi alla Copernicuse koduleheküljelt (Copernicus 2021). Piltide otsimiseks ja allalaadimiseks tuli eelnevalt end keskkonna kasutajaks registreerida. Pärast registreerumist sai juurdepääsu otsingumootorile ning tekkis võimalus satelliitpilte enda seadmesse alla laadida.

2.2. Piltide importimine ning töötlemine IDRISI-s ja MapInfo-s

Töö jaoks laaditi alla pildid, mis on tehtud kahel erineval kuupäeval – 07.07.2018 ja 21.06.2020. Piltide valiku peamiseks eelduseks oli vähene pilvisus, sest pilved oleks suuresti raskendanud töö eesmärgi saavutamist. Mainitud kuupäevade pildid olid kõige pilvevabamad. Otsima hakati alasid Saaremaalt, millel teostati lageraie nende kahe kuupäeva vahemikus. Enne piltide töötlemist tuli need kasutatavasse programmi importida, käesoleva töö puhul oli selleks IDRISI. Importimise meetod oleneb suuresti pildi- või faililiigist, mida tahetakse importida. Antud juhul olid pildid img formaadis ning nende importimiseks IDRISI-sse tuli kasutada ERDIDRIS importimise funktsiooni. Selle töö jaoks on kõige tähtsamad pildid, mis on tehtud SWIR ehk lühilainelise infrapunakiirguse spektriribas, sest selles spektripiirkonnas tehtud piltidest valmistatud aritmeetiliselt vahe pildilt on inimsilmal kerge näha muutusi metsas, sest need paistavad meile heledate laikudena. Sentinel-2A ja 2B satelliidi sensoril on see riba 11. Lisaks selles spektriribas tehtud piltidele oli vaja importida ka nähtavas rohelises ja punases vahemikus jäädvustatud pildid, nendeks on riba 3 ja riba 4, ning ka NIR ehk lähinfrapuna spektrivahemikus tehtud pilt, Sentinel-2A ning 2B puhul on selleks riba 8. Neid pilte kasutati valemvärvipildi tegemiseks, mille pealt kontrolliti pilvisust, mis võib segada lageraialade tuvastamist.

Pärast kõikide vajalike piltide importimist sai alustada nende töötlemisega. Allalaaditud ning imporditud pildid olid jaotatud plokkideks. Saaremaa sisaldus nendest neljas eri plokis, mille tähised on VEL, VFL, VEK ja VFK. Saaremaast ühe terviku pildi saamiseks tuli kõik neli plokki omavahel kokku liimida. Selle jaoks kasutati IDRISI funktsiooni CONCAT.

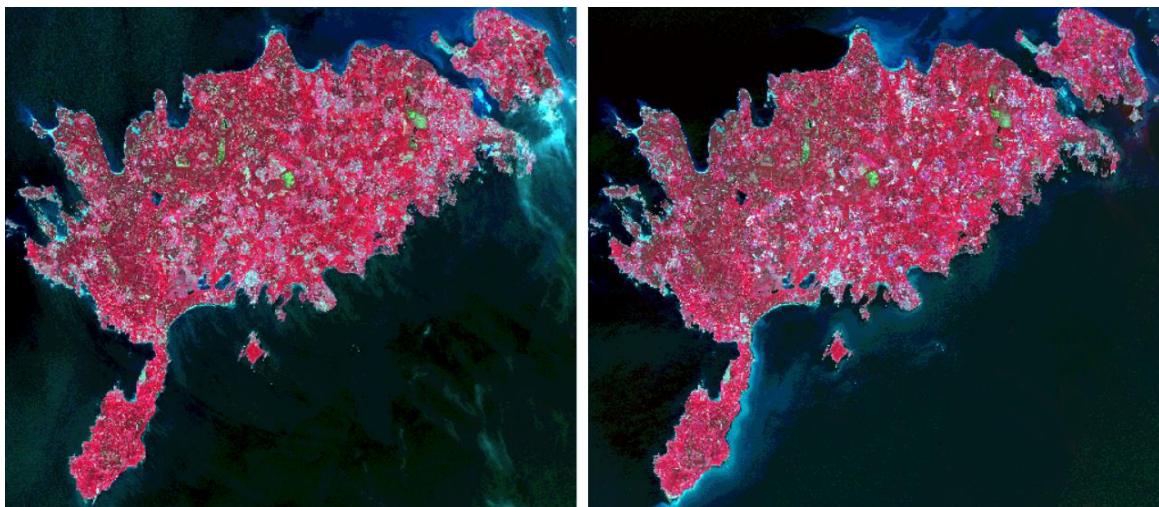
Pärast CONCAT mooduli kasutamist valmis kaardipilt, mis sisaldas endas Saaremaad, kuid ka suurt osa Lääne-Eesti mandriosa. Üleliigsete osade eemaldamiseks kasutati IDRISI moodulit PROJECT. Projitseerimise tulemusena valmis kaardipilt, kus on näha ainult Saaremaa ning sellega kaasnevad väikesaared (joonis 3). Kõik siiani tehtud sammud pidi tegema kõikide vajalikes spektrivahemikes jäädvustatud piltidega. Nendeks on riba 3 (nähtav roheline), riba 4 (nähtav punane), riba 8 (lähiinfrapuna) ja riba 11 (lühilaineline infrapuna).



Joonis 3. Lühilainelises infrapuna spektripiirkonnas tehtud pilt Saaremaast pärast projitseerimist.

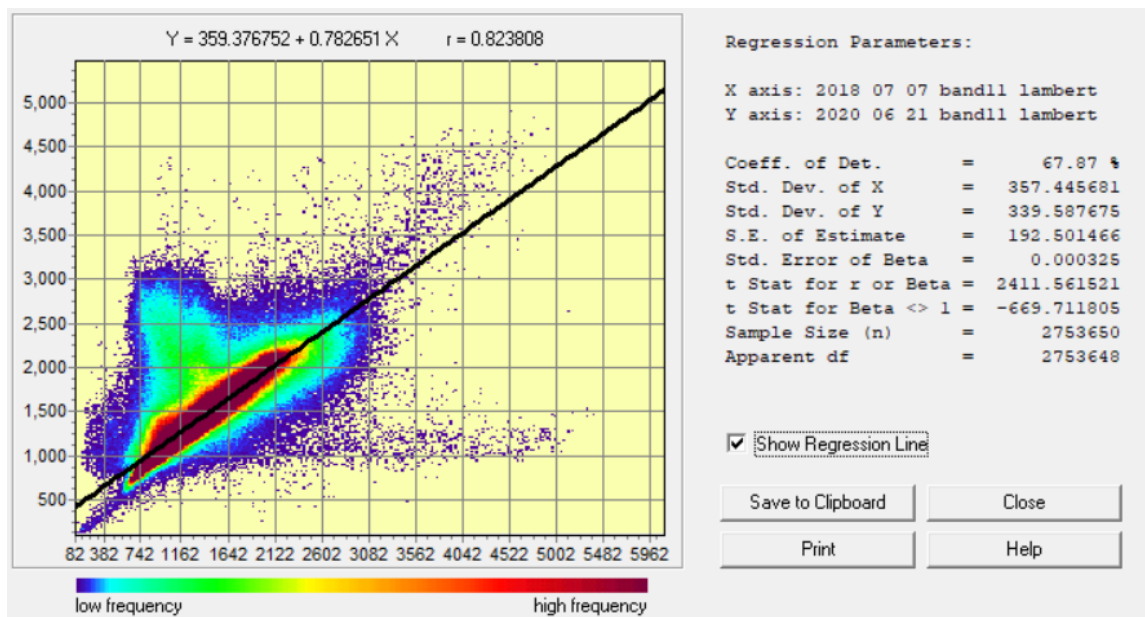
Satelliitpiltide algsel otsimisel ja valikul oli üheks peamiseks eelduseks, et pildid oleksid võimalikult pilvevabad. Kahjuks täiesti pilvedest vabu pilte leida ei õnnestunud, mistõttu pidi segavate pilvede leidmiseks ning eemaldamiseks tegema veidi rohkem andmetöötlust. Järgmise sammuna tehti valmis valevärvipilt eelmainitud pilvede ning muu sarnase (näiteks suits) otsimiseks, mis võisid raskendada lageraialade tuvastamist. Selleks kasutati moodulit

COMPOSITE ning riba 3, riba 4 ja riba 8 pilte . Need pildid on nähtavas rohelises, nähtavas punases ja lähiinfrapunases spektrivahemikus. COMPOSITE mooduli kasutamise tulemusena valmis punakates toonides valemvärvipilt, mida uurides sai parema arusaama, kas pildid on reostunud pilvedega või mitte (joonis 4). Töös kasutatavatel kuupäevadel tehtud pildid olid enamjaolt pilvedest puhtad, väljaarvatud väike maatükk Muhu saare kagunurgas 07.07.2018 tehtud pildil. Saa ala eemaldati metsakaardilt, mida hilisemas sammus maskina kasutati.



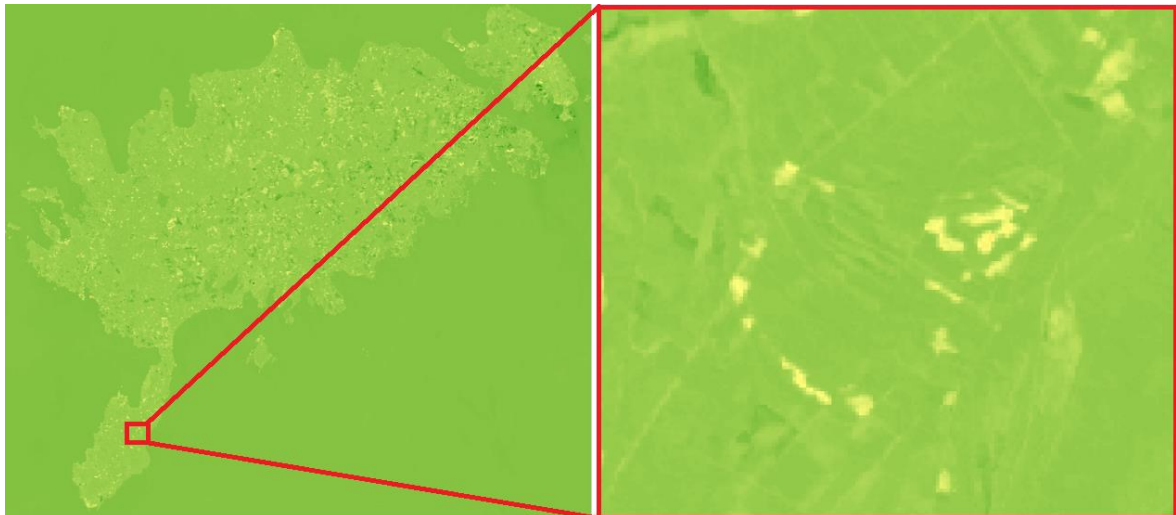
Joonis 4. 07.07.2018 (vasakul) ja 21.06.2020 (paremal) valemvärvipildid pilvede otsimiseks.

Pärast kindlaks tegemist, et pildid on enamasti pilvevabad ning pilvedega kaetud ala eemaldati maskina kasutamiseks mõeldud metsakaardilt, sai alustada lühilaineliste infrapuna piltide töötlemisega, mille kaudu tuvastatakse lageraiealasid. Esimese sammuna leiti 2018. aasta ja 2020. aasta piltide pikslite heleduse vaheline seos. Selle jaoks sai kasutada IDRISI moodulit REGRESS. Maskina kasutati metsaalade rasterjoonist, millelt on välja lõigatud varasemalt mainitud pilvevinega kaetud ala, et arvesse võetaks ainult pikslid, mis asuvad metsaaladel ning mitte näiteks põldudel. Tulemusena avanes aken, kus oli näha pikslite paiknemist hajusparves nende väärtuste järgi, lineaarset sobitussirget ning regressiooniseose võrrandit (joonis 5).



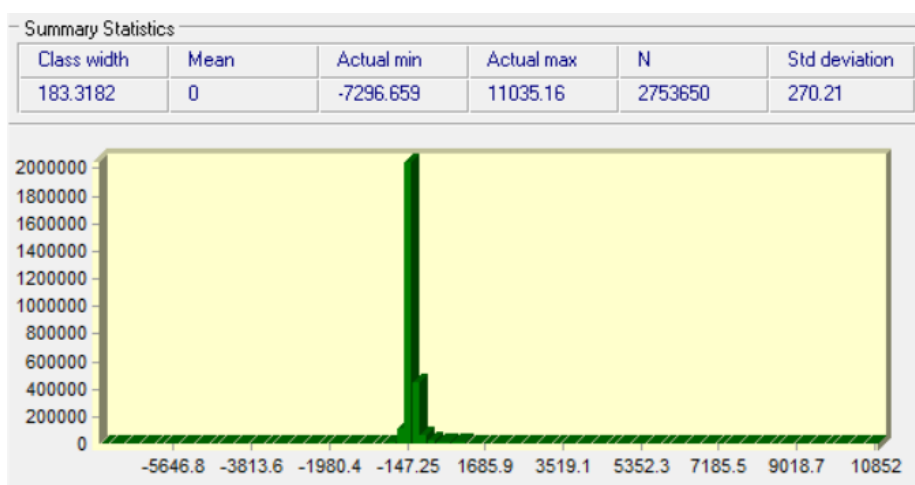
Joonis 5. 07.07.2018 ja 21.06.2020 piltide vahel tehtud regressioonianalüüsi tulemused.

Kasutades moodulit IMAGE CALCULATOR prognoositi kasutades regressiooniseose võrrandit varem tehtud pildist hilisem pilt. Seejärel sai mooduliga OVERLAY teha tegeliku hilisema pildi ning prognoositud hilisema pildi vahel aritmeetilise tehteid. Saamaks tulemuseks aritmeetilise vahe pilt, millelt on näha ajavahemikus tekkinud muutused, tuli tegelikust hilisemast pildist maha lahutada prognoositud pilt. Tehte tulemusena tekkis vahepilt, kus kahe pildi jäädvustamise vahemikus toimunud muutused ilmusid pildil heledate lappidena (joonis 6). Vahepilt imporditi MapInfo programmi, kus avati teise kihina vahepildi peale riigimetsade 2018., 2019. ja 2020. aasta lageraiete vektorandmestik, mis saadi andmepäringu vastusena RMK-lt. Vahepildi ja andmestike koosmõjul valiti välja lageraiealad, mis olid vahepildil nähtavad. Nendeks olid kõik Saaremaa riigimetsades teostatud lageraiet ajavahemikus 07.07.2018–21.06.2020. Lageraiet, mis on teostatud vahemikes 01.01.2018–06.07.2018 ja 22.06.2020–31.12.2020 jäid valikust välja, sest need vahepildil nähtavad ei olnud. Valitud vektorpolügonidest tehti uus andmestik, mis imporditi tagasi IDRISI-sse ning kasutades POLYRAS moodulit tehti see vektorfailist rasterfailiks.



Joonis 6. Aritmeetilise vahe pilt Saaremaast (vasakul) ning suurendatud osa Sõrve poolsaarest (paremal). Joonisel ühtlaselt rohelist tooni alade puhul on tegemist muutuseta aladega ning heledamate kollakat tooni alade puhul on tegemist muutusega aladega, mis praegusel juhul on üldiselt värsked lageraiealad.

Järgneva sammuna hakati IDRISI-s aritmeetilise vahe pilti klassifitseerima. Selle jaoks oli vaja leida pildi piksliväärtuste keskväärtus ning standardhälve, selleks sai kasutada moodulit HISTO. Maskina kasutati metsakaarti, kust oli eemaldatud pilvedega kaetud ala, et moodul loeks keskväärtuse ja standardhälbe arvutamisel ainult metsaaladel olevaid piksleid. Tulemusena ilmus aken, kus oli näha vahepildi histogramm, pikslite keskväärtus, minimaalne väärtus, maksimaalne väärtus ning standardhälve (joonis 7).

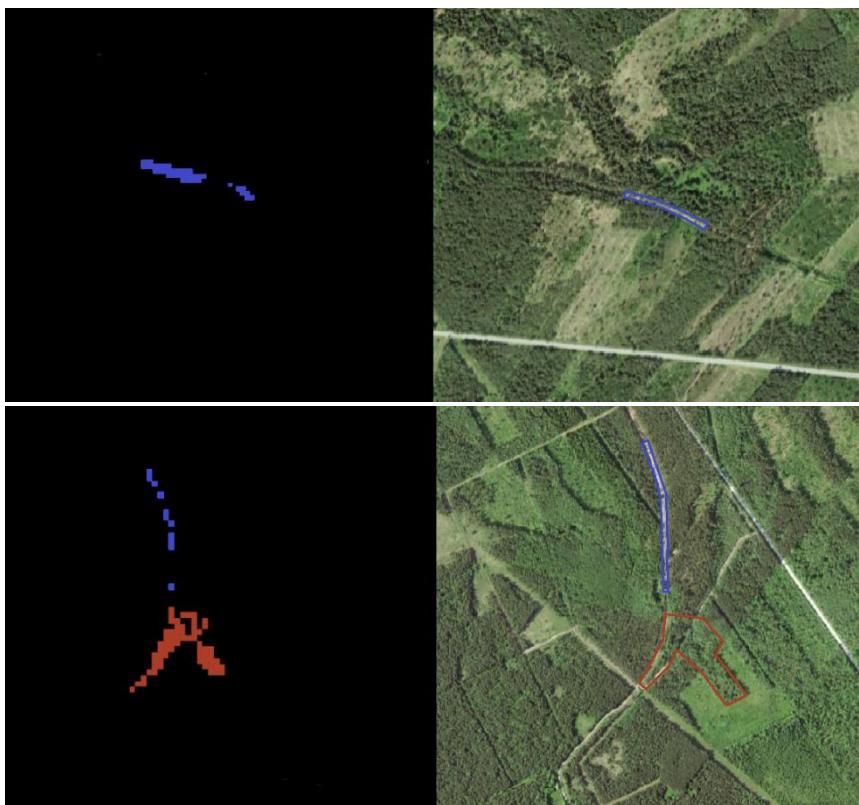


Joonis 7. Aritmeetilise vahe pildi histogramm, keskväärtus ja standardhälve.

Klassifitseerimiseks kasutati moodulit RECLASS. Klassifitseerimise mõte oli luua rasterpilt, kus piksliväärtusega 1 on tegu lageraiealadega ning piksliväärtusega 0 on tegu kõige muuga. Lageraiealade klassifitseerimiseks sobiva eristusnivoo leidmiseks tuli proovida erinevaid standardhälbe ühikute koguseid, et vahepildist klassifitseeritud pildil olevate lageraiealade kogupindala ja RMK andmestiku kogupindala oleks võimalikult väikese erinevusega. Töö käigus valminud vahepildi klassifitseerimiseks kõige sobilikumaks eristusnivooks osutus 2,2 standardhälbe ühikut, sest seda kasutades oli klassifitseeritud alade kogupindala ja RMK andmestiku alade kogupindala vahe minimaalne. Klassifitseerimise tulemusena tekkis rasterpilt, kust eemaldati metsakaarti ning moodulit OVERLAY kasutades kõik alad, mis ei asunud metsas. Pärast seda oli kõikide leitud alade kogupindala 3743,50 ha. Peab mainima, et seal hulgas on ka sadu „pseudolagealasid“, mis ei ole tegelikud lageraiealad, vaid pigem klassifitseerimisel tekkinud väikesemahulised vead, mõni muu väike muutus metsas või hoopiski metsateed. Seejärel oli võimalik saadud klassifitseeritud pildilt järeltöötlusena eemaldada eelnevalt mainitud n.ö. pseudolagealad. Selleks kasutati mooduleid GROUP, AREA, RECLASS ning OVERLAY. Seejärel lisati eelnevalt rasteriseeritud RMK lageraiealade rasterandmestiku aladele kolme piksli laiune puhvervöönd, et seda kasutada n.ö. maskina klassifitseeritud pildist riigimetsades asuvate lageraiealade eraldamiseks, sest hetkel oli eelnevas sammus klassifitseeritud ning „pseudolagealadest“ puhastatud pildil kõik 07.07.2018–21.06.2020 vahemikus teostatud lageraied, nii riigimetsades kui ka erametsades. Puhvervöönd lisati selleks, et seda riigimetsades olevate lageraiealade eraldamiseks maskina kasutades ei jääks välja alad, mis klassifitseeritud pildil olid veidi suurema pindalaga kui eraldise tegelik suurus ning mille servad ulatusid klassifitseeritud pildil tegelikest eraldiste piiridest välja. Puhvervööndi laiuseks valiti 3 pikslit, sest selle laiusega jäid sisse kõik klassifitseerimise teel saadud riigimetsades asuvad lageraiealad ning sisse ei mahtunud ükski erametsades asuv lageraieala. Puhvervööndi lisamiseks kasutati moodulit BUFFER. Kasutades puhvervööndiga andmestikku sai mooduliga OVERLAY teha klassifitseeritud pildist uue rasterpildi, kus kõikide lageraiealade asemel on ainult riigimetsades asuvad lageraiealad. Tulemusena valmisid 2 pilti – rasterpilt kõikide 07.07.2018–21.06.2020 vahemikus tekkinud lageraiealadega (lisa 1 joonis 11) ning rasterpilt kõikide riigimetsades samas ajavahemikus tekkinud lagedate aladega (lisa 1 joonis 12). Riigimetsade lageraiealade rasterpilti kasutati pindalade mõõtmiseks ning nende võrdlemiseks RMK lageraiete andmestikuga veahinnanguks.

3. TULEMUSED JA ARUTELU

Algse klassifitseerimise tulemusena leitud 3743,50 ha metsast eemaldati järeltöötlusena 411,12 ha „pseudolagealasid“. Põhiliselt olid nendeks objektid, mida on võimalik märgata ja kontrollida ortofotot vaadates, nagu näiteks metsateed, metsasihid, väikesed muutused metsas, mis ei ole seotud lageraiega, või väikesed klassifitseerimisvead, mida palja silmaga märgata on raske. Joonisel 8 on toodud visuaalseks näiteks kaks klassifitseerimise teel leitud „pseudolageala“, mis osutusid hoopiski metsade vahelisteks teedeks.



Joonis 8. Klassifitseerimise teel leitud lageraieala ning "pseudolagealad". Pruuni tooniga on näidatud lageraieala ning sinise tooniga on näidatud "pseudolagealad" (Metsaportaal 2021).

Pärast „pseudoalade“ eemaldamist ja riigimetsade eraldamist saadi tulemuseks klassifitseeritud riigimetsade lageraiealade andmestik kogupindalaga 656,40 ha. Tulemuste võrdlemiseks kasutatavas RMK vektorandmestikus oli samade alade kogupindala 657,74 ha. Lageraiealasid oli RMK vektorandmestikus kokku 393, kuid klassifitseeritud pildil oli neid kokku 392, sest järeltöötlusena tehtud „pseudolagealade“ eemaldamisel läks koos sadade „pseudolagealadega“ üks väikese pindalaga päris lageraieala klassifitseeritud pildilt kaduma. Tabelis 2 on näiteks välja toodud andmestikust 30 lageraieala pindalad RMK andmestikus ja klassifitseeritud rasterpildil ning kahe pindala erinevus. Samuti on tabelis arvutatud leitud ala pindalade erinevuste keskmine ruutviga kasutades Gaussi valemit:

$$m = \sqrt{\frac{\sum \Delta^2}{n}},$$

kus $\sum \Delta^2$ – pindalade vahede ruutude summa ha;

n – vahede arv tk.

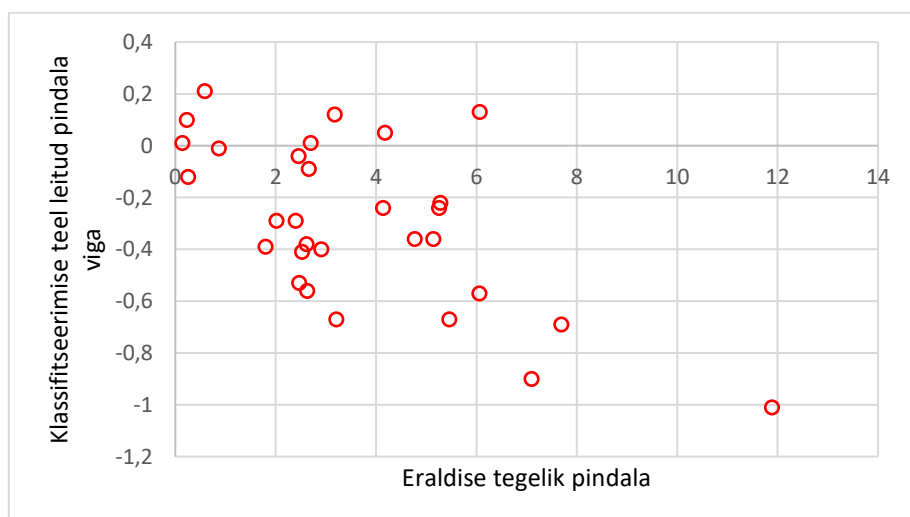
Tabel 2. 30 lageraieala pindalad RMK andmestikus, pindalad klassifitseeritud rasterpildil, nende erinevused ning erinevuste keskmine ruutviga, ha

Lageraieala jrk nr.	Pindala RMK andmestikus	Pindala klassifitseeritud rasterpildil	Pindalade vahe
1.	5,46	6,13	-0,67
2.	7,69	8,38	-0,69
3.	2,70	2,69	0,01
4.	0,87	0,88	-0,01
5.	0,23	0,13	0,1
6.	7,10	8,00	-0,9
7.	11,89	10,88	-1,01
8.	5,26	5,61	-0,36
9.	3,18	3,06	0,12
10.	2,66	2,75	-0,09
11.	2,46	2,50	-0,04
12.	2,47	3,12	-0,65
13.	2,62	3,00	-0,38
14.	2,53	2,94	-0,41
15.	0,26	0,41	-0,15
16.	6,07	5,98	0,17
17.	4,18	4,13	0,05
18.	2,40	2,69	-0,29
19.	1,80	2,19	-0,39
20.	0,59	0,42	0,17
21.	5,14	5,50	-0,36
22.	0,14	0,13	0,01

Tabel 2 järg

Lageraieala jrk nr.	Pindala RMK andmestikus	Pindala klassifitseeritud rasterpildil	Pindalade vahe
23.	4,14	4,38	-0,24
24.	4,77	5,14	-0,37
25.	6,06	6,63	-0,57
26.	2,63	3,19	-0,56
27.	2,91	3,31	-0,40
28.	5,28	5,50	-0,22
29.	2,02	2,31	-0,29
30.	3,21	3,88	-0,67
Kõikide pindalade vahede keskmine ruutviga			0,43

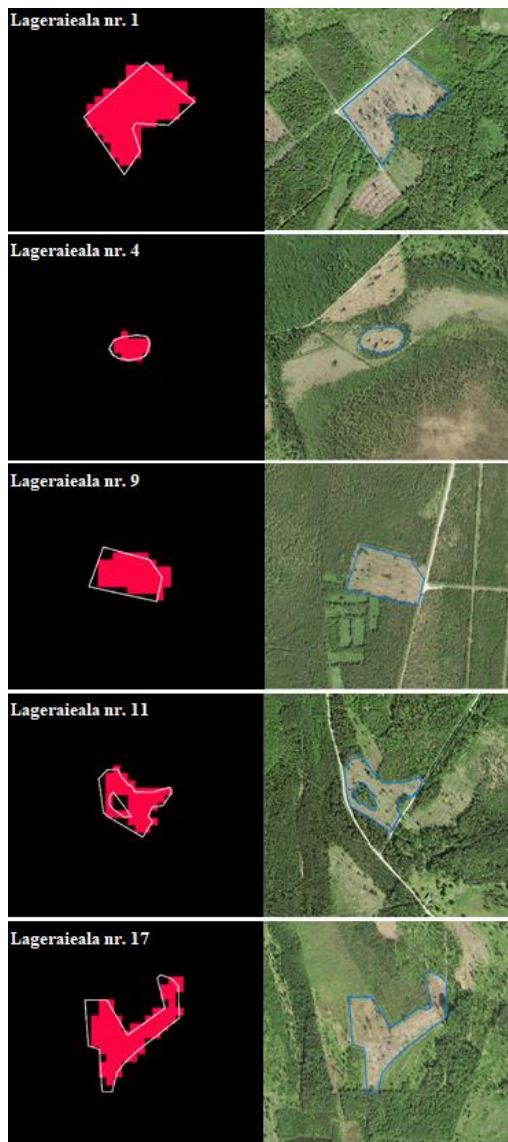
Tabelis 2 on näha, et ~77% aladest olid klassifitseeritud pildil suurema pindalaga kui on ala tegelik pindala, mis tähendab et klassifitseerides võeti arvesse piksleid, mille nurgad või servad jäid eraldise tegelikust piirist välja. Pindalade vahede keskmine ruutviga oli 0,43 ha. Tabelis 2 leitud pindalaid ja nende vigasid kasutades tehti graafik, mis näitab, et eraldiste suuruste ja klassifitseeritud pindalade vigade vahel leidub korrelatsioon (joonis 9). Eraldise pindala suurenedes kasvas ka üldjuhul klassifitseerimise teel tekkiv viga, sest eraldise piirid suurenesid, mistõttu arvestati rohkem eraldise servas olevaid piksleid muutusena, mis pruukisid seda tegelikkuses mitte olla. Leidus ka väga palju erandeid, mistõttu ei saa olla kindel, et tegemist pole lihtsalt kokkusattumusega.



Joonis 9. Eraldiste pindalade ja klassifitseerimisel tekkinud vigade seos, ha.

Tabelist 2 valiti omakorda välja 5 ala, mille rasterpildid on välja toodud joonisel 10, et anda visuaalne arusaam, mis klassifitseerimisel ilmnenu vead tekitada võis. Klassifitseeritud pindalade erinevus eraldiste reaalse pindaladega olid tekkinud mitmel põhjusel. Esimene põhjus oli töös kasutatud satelliitpiltide resolutsioon. Väikse resolutsiooni tõttu võib juhtuda, et klassifitseerimise teel tekkinud pildil ei mahu alade ääres olevad pikslid eraldise reaalsesse piiridesse ära ning ületavad need. Sellest tulenevalt on klassifitseeritud pildil ala pindala suurem kui päriselt. Ka vastupidine võib juhtuda, kus pildil olevate pikslite suuruse tõttu ei ulatu need täielikult eraldise piirini, mistõttu tuleb klassifitseeritud pildil ala pindala väiksem kui see reaalsuses on. Selle olukorra põhjustajaks võib olla ka see, et alade äärtes olevad pikslid võivad olla veidi tumedamad ning jäävad eristusnivoost välja, mistõttu ei loeta neid piksleid muutustena. Mõlemad eelmainitud näited lähevad kokku joonisel 10 oleval lageraialaga nr. 1, kus ala kirde- ja loodeservas ületavad pikslid eraldise piiri ning kagu- ja edelaservas ei ulatu pikslid täielikult eraldise piirini.

Teiseks vigade tekitajaks olid pildidel visuaalsed segajad. Nendeks võivad olla varjud, metsateed ning ka teised lagedad alad. Varjud paistavad pildil tumedamana kui lagedad alad ning neid võib ekslikult pidada metsaks. Seetõttu klassifitseerimise tulemusena ei arvestata varjuliste alade piksleid muutusteks. Vastupidine olukord on metsade vahel olevate teedega ning teiste lagedate aladega. Mõlemad neist on enamjaolt heledad, mistõttu on võimalik, et klassifitseerides loetakse need alad lageraialade sekka. Joonisel 10 näiteks toodud lageraialal nr. 9 on idaservas klassifitseerimise teel lageraialaks loetud ka tükk metsa kõrval asetsevast teest. Neid vigu on võimalik suures osas vältida kasutades rohkem aega võimalikult täpse eristusnivoo leidmiseks ning „pseudolagealade“ täpsema eemaldamisega.



Joonis 10. Lageraiealade nr. 1, 4, 9, 11 ja 17 klassifitseeritud rasterpildid (vasakul) ning samad alad Metsaregistri ortofotol (paremal) (Metsaportaali 2021).

Märkus. Vasakpoolsetel pildidel must ala on taust, punane ala on klassifitseerimise tulemusena saadud lageraieala ning valge on lageraieala piirjoon RMK vektorandmestikust.

Arvestades kogutud andmeid saab väita, et kasutades antud meetodit ning Sentinel-2A ning Sentinel-2B poolt tehtud satelliitpilte on võimalik lageraiealasid tuvastada keskmiselt 0,43 ha täpsusega. Leidub ka palju erandeid, sest üldjuhul väiksemate alade tuvastamisel on ka viga palju väiksem kui arvutatud keskmine, milleks on 0,5 ha. Peamised vead tulid välja eraldiste servades, mille tekitasid vahepildi pikslite väärtused, mida ei loetud muutusena, ning samuti ka pikslite suurus ehk resolutsioon. Veel tekitasid vigu ka metsateed ning varjud, mida loeti klassifitseerimise käigus vastavalt lageraiealadeks või metsadeks, mida need tegelikult ei olnud.

KOKKUVÕTE

Käesoleva töö eesmärgiks oli satelliitpiltide põhjal leida alad, kus kahe pildi pilidstamise ajavahemikus on teostatud lageraie, välja selgitada pindalahinnangu täpsus ning selgitada vigade tekkimise põhjuseid. Töö uurimisobjektiks valiti Saaremaa lageraied ajavahemikus 07.07.2018–21.06.2020. Selleks laaditi alla ning kasutati Sentinel-2A ja Sentinel-2B MSI sensori poolt eelmainitud kuupäevadel tehtud satelliitpilte. Piltide valikul lähtuti sellest, et need oleksid võimalikult väheste pilvedega. Lageraiealade leidmiseks kasutati geograafiliste informatsioonisüsteemide programme IDRISI Selva ning MapInfo Pro. Valitud meetodiks oli pildipaari võrdlus, mille käigus tehti valmis aritmeetilise vahe pilt, mille pealt sai eristusnivood kasutades klassifitseerimise teel leida ajavahemikus tekkinud lageraiealad. Rõhk pandi riigimetsades asuvate lageraiealade otsimisega, et tulemuse täpsust võrrelda RMK andmestikuga.

Enne lageraiealade otsimist pidi alla laaditud pilte eeltöötleva, sest ilma selleta oleks edasine töö võimatu olnud. Sinna sisse kuulus algselt piltide kokku liimimine, et terve Saaremaa oleks korraga ühel, piltide projitseerimine, et kõik kasutatavad andmestikud oleksid ühes projektsioonis ning pilviste alade otsimine ning nende eemaldamine. Töö käigus valminud aritmeetilise vahe pildi klassifitseerimise ning selle järeltöötamise ehk „pseudolagealade“ eemaldamise ja riigimetsade välja eraldamise tulemusena valmis andmestik (rasterpilt), milles leiduvate lageraiealade kogupindala oli 657,74 ha. Peamisteks vigade tekitajateks olid eraldiste servad, mille piksli väärtus ei olnud piisav, mistõttu jäid need muutusena märkamata, või alad, kus asusid varjud või läheduses olid suure heledusega alad, nagu näiteks metsateed. Saamaks täpsem arusaam üksikute alade leidmise täpsusest valiti välja 30 leitud ala ning leiti klassifitseeritud alade ja riigimetsade andmestiku alade erinevuste keskmine ruutviga. Vahede keskmiseks ruutveaks osutus 0,43 ha, mis tähendab, et keskmiselt selle täpsusega on antud meetodit ja Sentinel-2A ning Sentinel-2B MSI satelliitpilte kasutades võimalik lageraie alasid tuvastada. Samuti leiti korrelatsioon eraldiste pindalade ja klassifitseerimise teel tekkinud vigade vahel, mis näitas vigade kasvu eraldiste pindalade suurenedes.

Töö eesmärk täideti, sest satelliitpiltide põhjal tuvastati valitud ajavahemikul tekkinud lageraiealad, hinnati selle tegevuse täpsust ning selgitati vigade tekkimise põhjuseid. Tulemusi vaadates saab öelda, et leitud alade pindalad on võrreldes RMK andmestikuga suhteliselt arvestatava täpsusega, mis näitab, et see pilditöötamise viis on lageraiealade ning nende pindalade tuvastamiseks hea variant kasutades satelliitkaugseiret.

KASUTATUD KIRJANDUS

- Boyd, D. S., Danson, F. M.** (2005). Satellite remote sensing of forest resource: three decades of research development. – *Progress in Physical Geography*. Vol. 29, No. 1, pp. 1–26.
- Centre for Remote Imaging, Sensing & Processing. (2001). Principles of Remote Sensing. [veebileht] <https://crisp.nus.edu.sg/~research/tutorial/rsmain.htm> (08.05.2021)
- Copernicus. (s.a). Copernicus Open Access Hub. [veebileht] <https://scihub.copernicus.eu/> (10.04.2021)
- Earth Observing System. (2015). Sentinel-2. [veebileht] <https://eos.com/find-satellite/sentinel-2/> (10.04.2021).
- Feng, M., Sexton, J. O., Huang, C., Anand, A., Channan, S., Song, X.-P., Song, D.-X., Kim, D.-H., Noojipady, P., Townshend, J. R.** (2016). Earth science data records of global forest cover and change: Assessment of accuracy in 1990, 2000, and 2005 epochs. – *Remote Sensing of Environment*. Vol. 184, pp. 73–85.
- Hansen, M. C., Potapov, P. V., Moore, R., Hancher, M., Turubanova, S. A., Tyukaniva, A., Thau, D., Stehman, S. V., Goetz, S. J., Loveland, T. R., Kommareddy, A., Egorov, A., Chini, L., Justice, C. O., Townshend, J. R. G.** (2013). High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change. – *Science*. Vol. 342, No. 6160, pp. 850–853.
- Lechner, A. M., Foody, G. M., Boyd, D. S.** (2020). Applications in Remote Sensing to Forest Ecology and Management. – *One Earth*. Vol. 2, No. 5, pp. 405–412.
- Merchant, J. W., Narumalani, S.** (2009). Integrating Remote Sensing and Geographic Information Systems. – *The SAGE Handbook of Remote Sensing* / Ed. T. A. Warner, M. D. Nellis, G. M. Foody. Sage Publications Ltd. 568 lk.
- Metsaportaalt. (s.a). Metsaregister. [veebileht] <https://register.metsad.ee/#/> (08.05.2021)
- Satellite Imaging Corporation. (s.a). Sentinel-2A (10m) Satellite Sensor. [veebileht] <https://www.satimagingcorp.com/satellite-sensors/other-satellite-sensors/sentinel-2a/> (10.04.2021)
- The European Space Agency – Sentinel. (s.a). Sentinel-2. [veebileht] <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-2> (10.04.2021).
- The European Space Agency. (s.a). Sentinel-2. [veebileht] http://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-2 (10.04.2021).

SUMMARY

The purpose of this thesis was to find areas, where during a space of time when two photos were taken a clear-cut was performed, using satellite images, to ascertain accuracy of the areas and explain the main causes of the errors. As the object of research clear-cut areas in Saaremaa from 07.07.2018 to 21.06.2020 were chosen. For that, satellite images taken by Sentinel-2A and Sentinel-2B MSI sensor from before mentioned dates were downloaded and used. The selection of images was based on the fact that they would have as few clouds as possible. Programs IDRISI Selva and MapInfo Pro, meant for geographic information systems were used to find clear-cut areas. The chosen method was a comparison of a pair of images, in the course of which an arithmetic difference picture was created, from which clear-cut areas could be found by the means of classification. Emphasis was placed on searching for clear-cut areas in state forests in order to assess the accuracy of the results with RMK data.

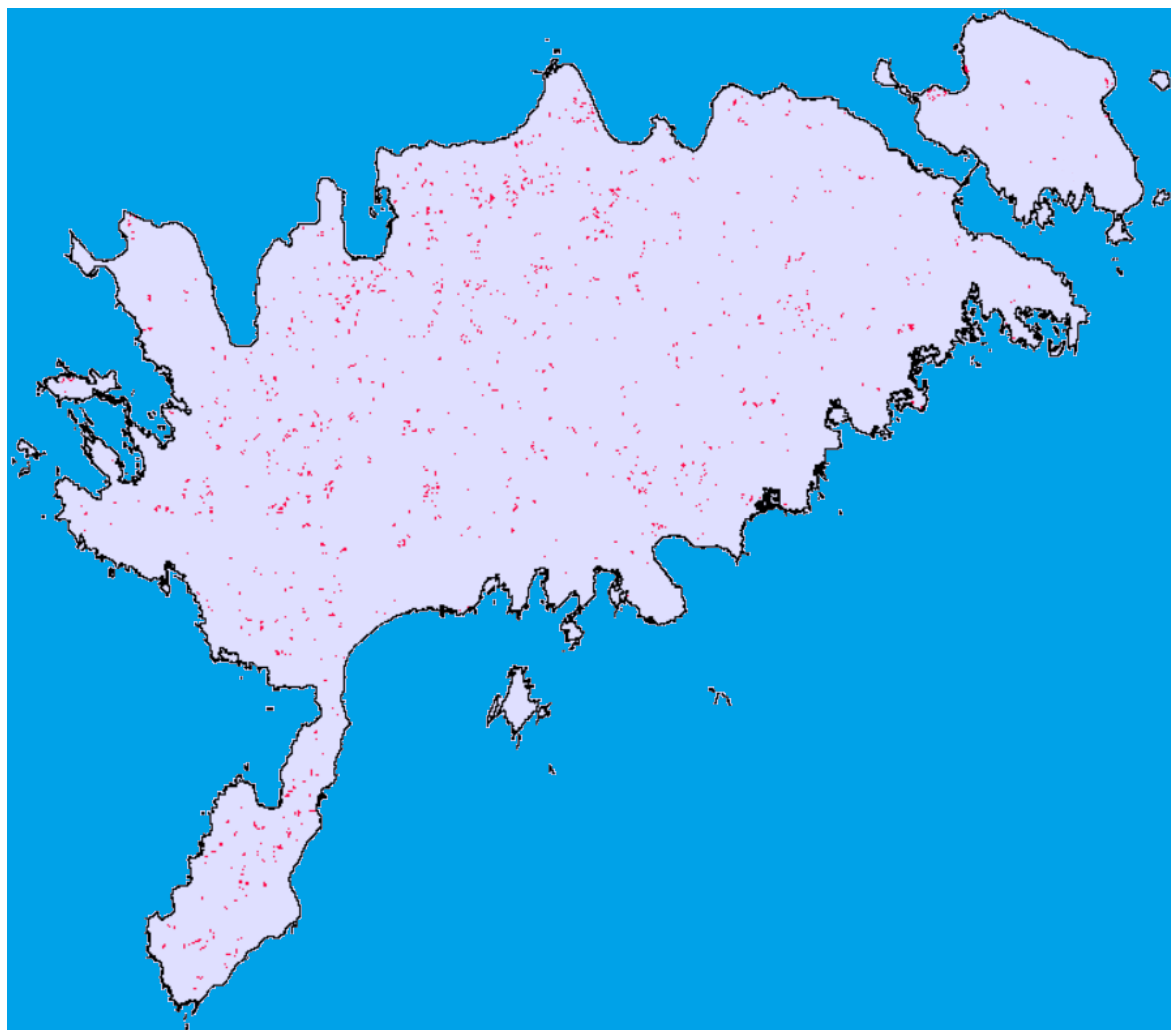
Before searching for clear-cut areas, the downloaded images had to be pre-processed because without doing it the next steps would have been impossible. It included stitching the images together so that the whole of Saaremaa could be seen in the images, projecting the images so all the pictures would be in the same projection and searching for and removing cloudy areas. As the result of the classification of the arithmetic difference image and its post-processing, i.e the removal of „pseudo clear-cut areas“ and the separation of state forests, a list of data (raster image) was created in which the total area of the found clear-cut areas was 657,74 hectares. The main causes of the errors were the edges of the allocations, which did not have sufficient pixel value and were therefore not noticed as a change, or areas with shadows or high-brightness areas nearby, such as forest roads. In order to get a more accurate understanding of the accuracy of finding individual areas, 30 of the found areas were selected and the mean square error of the differences between the classified areas and the areas of the RMK data was found. The mean square error of the differences turned out to be 0,43 hectares, which means that it is possible to identify clear-cut areas using this method and satellite images from Sentinel-2A and Sentinel-2B with approximately 0,43 hectare accuracy. A correlation was also found between the areas of the allocations and the errors

caused by classification, which showed an increase in errors as the areas of the allocations increased.

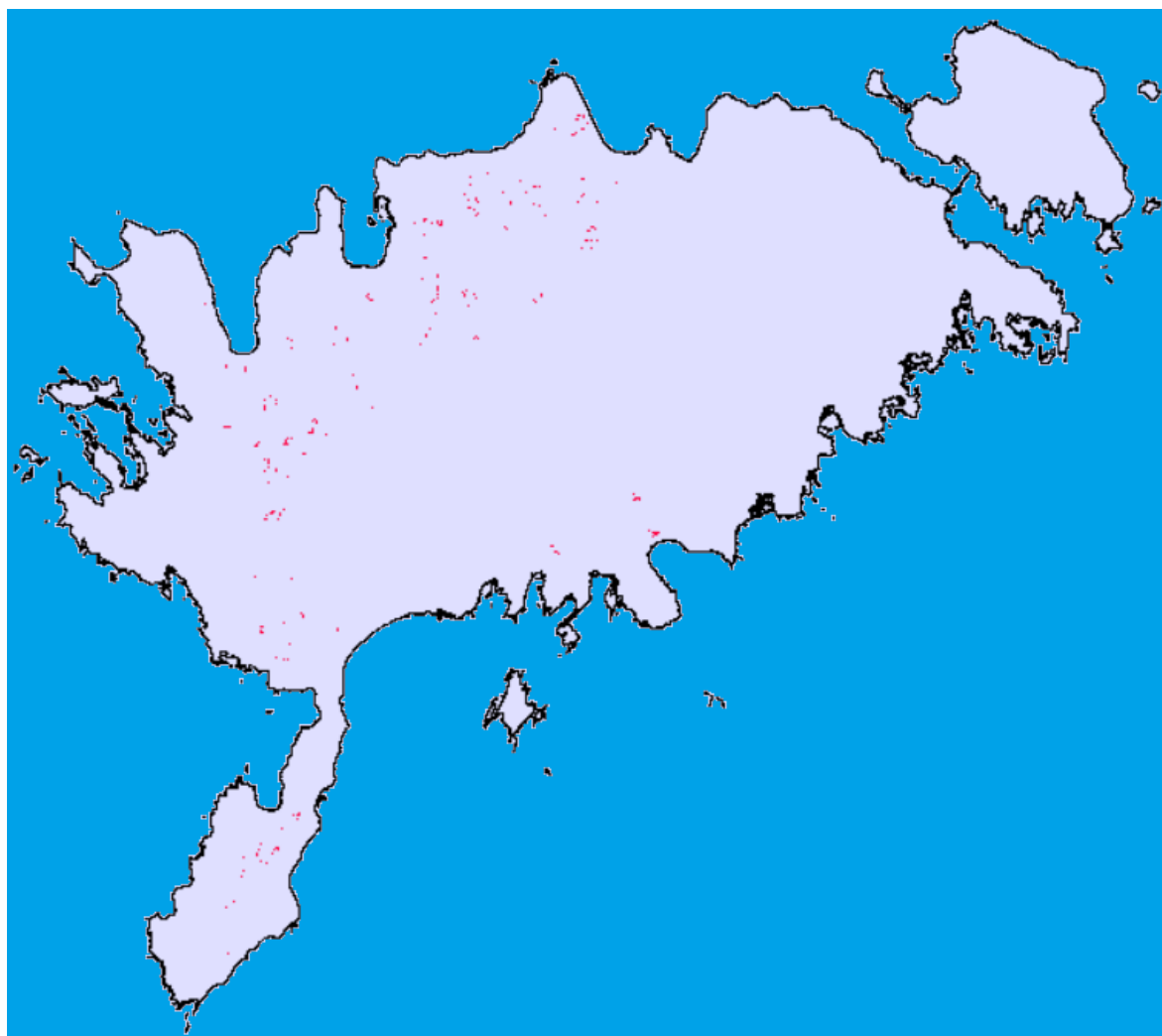
The aim of the thesis was fulfilled because clear-cut areas created during the selected period were identified on the basis of satellite images, the accuracy of this action was evaluated and the causes of the errors were explained. Looking at the results, it can be said that the areas of the found allocations have a relatively good accuracy compared to the RMK data, which makes this a good image processing method for identifying clear-cut areas using satellite remote sensing.

LISAD

Lisa 1. Rasterjoonised leitud lageraiealadest



Joonis 11. Kõik leitud lageraiealad Saaremaal vahemikus 07.07.2018–21.06.2020 (lageraiealad on esitatud punase tooniga).



Joonis 12. Kõik riigimetsades leitud lageraiealad Saaremaal vahemikus 07.07.2018–21.06.2020 (lageraiealad on esitatud punase tooniga).

**Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks ning
juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta**

Mina, Lauri Põlluäär,
sünniaeg 23.12.1998,

1. annan Eesti Maaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda koostatud lõputöö
Lageraialade tuvastamine Sentinel-2 satelliitpiltide põhjal,
mille juhendaja on Urmas Peterson,
 - 1.1. salvestamiseks säilitamise eesmärgil,
 - 1.2. digiarhiivi DSpace lisamiseks ja
 - 1.3. veebikeskkonnas üldsusele kättesaadavaks tegemisekskuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;
2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile;
3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega
isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Lõputöö autor _____
(allkiri)

Tartu, 26.05.2021

Juhendaja kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Luban lõputöö kaitsmisele.

Urmas Peterson _____
(allkiri)

26.05.2021